DOCUMENTO EXPLICATIVO DEL MODELO DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES, CANTÓN LOJA

Fabián Reyes-Bueno
Director del proyecto

Julia Loján Córdova
Analista geoespacial









Sobre este documento

El presente documento que se adjunta al visor web de susceptibilidad a incendios forestales del cantón Loja pretende ser un complemento técnico para su comprensión y utilización. En él tendrá una vista rápida del proceso de recolección de información, entrenamiento y validación de modelos de aprendizaje automático, así como, la automatización en la plataforma Google Earth Engine con una explicación del proceso para lanzar una Earth Engine App y un glosario de términos utilizados.

Índice

IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES EXPLICATIVAS

La generación de la base de datos para el cantón Loja tuvo la finalidad de recolectar información de variables relacionadas con el inicio de incendios forestales (momento de ignición), a partir de una revisión de literatura científica. Esta base de datos permitirá generar modelos de susceptibilidad de incendios forestales para identificar zonas con una probabilidad de ocurrencia mayor y que, por tanto, necesitan una atención prioritaria en la prevención de estos desastres.

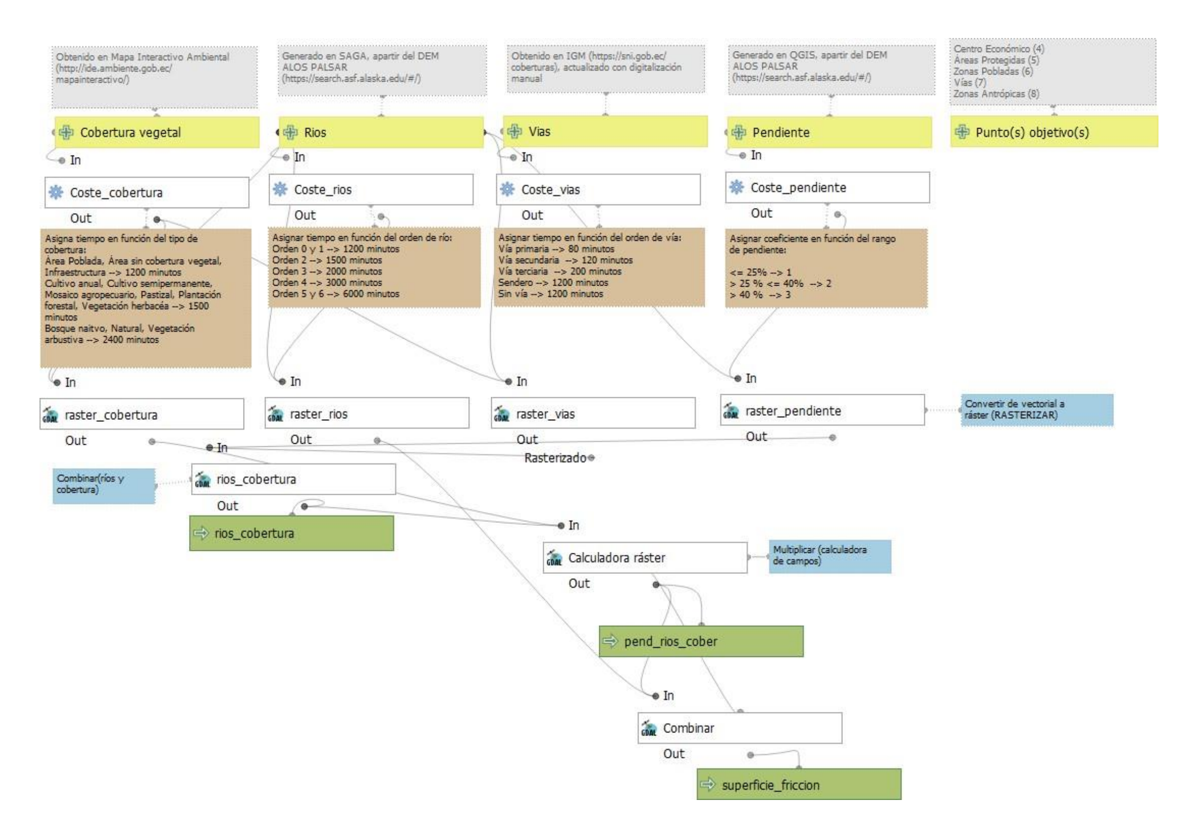
Este apartado del documento surge en colaboración con tres estudiantes del componente práctico Gestión Productiva 3.1. de la titulación de Gestión Ambiental de la Universidad Técnica Particular de Loja, y pretende dar una breve explicación del proceso de obtención de las ***23 variables*** que conforman la base de datos. En función de ello, esta sección se subdivide en: variables topológicas, variables de interacción antrópica y variables del estado de la vegetación.

VARIABLES TOPOGRÁFICAS

	Variable	Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
1	Elevación	Altura sobre el nivel del mar.	Se importa un archivo .kml con los límites del cantón de interés y se realiza la búsqueda de Modelos de Elevación Digital (DEM) disponibles en la web de ALOS PALSAR para la zona. Una vez descargados los archivos en *high resolution* se utiliza la **herramienta de QGIS** para combinar las teselas (Ráster, Miscelánea, Combinar), posteriormente se recorta a los límites de nuestra zona de interés (Ráster, Extracción, Cortar ráster por capa de máscara)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Rango de valores:** 0 – 3668 **Unidades:** m.s.n.m.
2	Pendiente	Grado de inclinación del terreno, puede medirse en grados o porcentaje.	Al DEM obtenido en la web de ALOS PALSAR, se le aplica un filtro de suavizado en QGIS **herramienta SAGA** (Simple Filter, Smooth 3). Después de aplicar el filtro de suavizado, se utiliza la **herramienta GRASS** (r.slope.aspect, percent)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Rango de valores:** 0 – 375 **Unidades:** porcentaje (%)
3	Orientación	Dirección de pendiente descendente que presenta cada celda, tomando como referencia los puntos cardinales (Norte, Sur, Este, Oeste)	Al DEM obtenido en la web de ALOS PALSAR, se le aplica un filtro de suavizado en QGIS **herramienta SAGA** (Simple Filter, Smooth 3). Después de aplicar el filtro de suavizado, se utiliza la **herramienta GRASS** (r.slope.aspect)	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 12.5 x 12.5 metros **Rango de valores:** 0 – 360 **Unidades:** grados (°)

VARIABLES DE INTERACCIÓN ANTRÓPICA

La generación de las capas de accesibilidad surge a partir de una capa de ***superficie de fricción,*** que representa el costo añadido que implica la movilización desde cada punto del territorio hasta el punto(s) objetivo(s), la siguiente gráfica pretende ilustrar el proceso seguido para su cálculo.



Metodología tomada de:

Reyes, F. (2017). Mapa de Accesibilidad Territorial. En Manual de Prácticas de Ordenación Territorial (págs. 29-41).Loja: UTPL.

	Variable	Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
4	Accesibilidad al centro económico	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta el ***centro económico***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de centro económico descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 343 **Unidades:** minutos
5	Accesibilidad a áreas protegidas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta ***áreas protegidas***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de áreas protegidas descargada en el Mapa Interactivo Ambiental. Las categorías consideradas de áreas protegidas son: Sistema Nacional de Áreas Protegidas Bosque y Vegetación Protectora Área Bajo Conservación Patrimonio Forestal del Estado Áreas de Protección Hídrica	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 271 **Unidades:** minutos

6	Accesibilidad a zonas pobladas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta ***poblados***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de poblados descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 365 **Unidades:** minutos
7	Accesibilidad a vías	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta ***vías***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de vías descargada en el portal del SNI y actualizada manualmente.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 360 **Unidades:** minutos
8	Accesibilidad a zonas antrópicas	Facilidad de movimiento desde cualquier punto del cantón hasta ***zonas pobladas o zonas agropecuarias***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.cost.full,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de cobertura vegetal descargada en el Mapa Interactivo Ambiental.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 262 **Unidades:** minutos
9	Distancia desde el centro económico	Distancia desde el ***centro económico***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa de centro económico descargada en el portal del SNI.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 4173 **Unidades:** metros
10	Distancia desde ríos	Distancia desde ***ríos***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa ríos generada a partir del DEM.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 4173 **Unidades:** metros
11	Distancia desde vías	Distancia desde ***vías***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa vías descargada en el portal del SNI y actualizada manualmente.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 14253 **Unidades:** metros
12	Distancia desde áreas protegidas	Distancia desde ***áreas protegidas***	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa áreas protegidas descargada en el Mapa Interactivo Ambiental. Las categorías consideradas de áreas protegidas son: Sistema Nacional de Áreas Protegidas Bosque y Vegetación Protectora Área Bajo Conservación Patrimonio Forestal del EstadoÁreas de Protección Hídrica	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 15047 **Unidades:** metros
13	Distancia a zonas antrópicas	Distancia desde ***zonas pobladas o zonas agropecuarias***.	Utilizando la herramienta GRASS **r.grow.distance,** se configura como punto(s) objetivo(s) la capa zonas pobladas o zonas agropecuarias.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10metros **Rango de valores:** 0 – 661 **Unidades:** metros

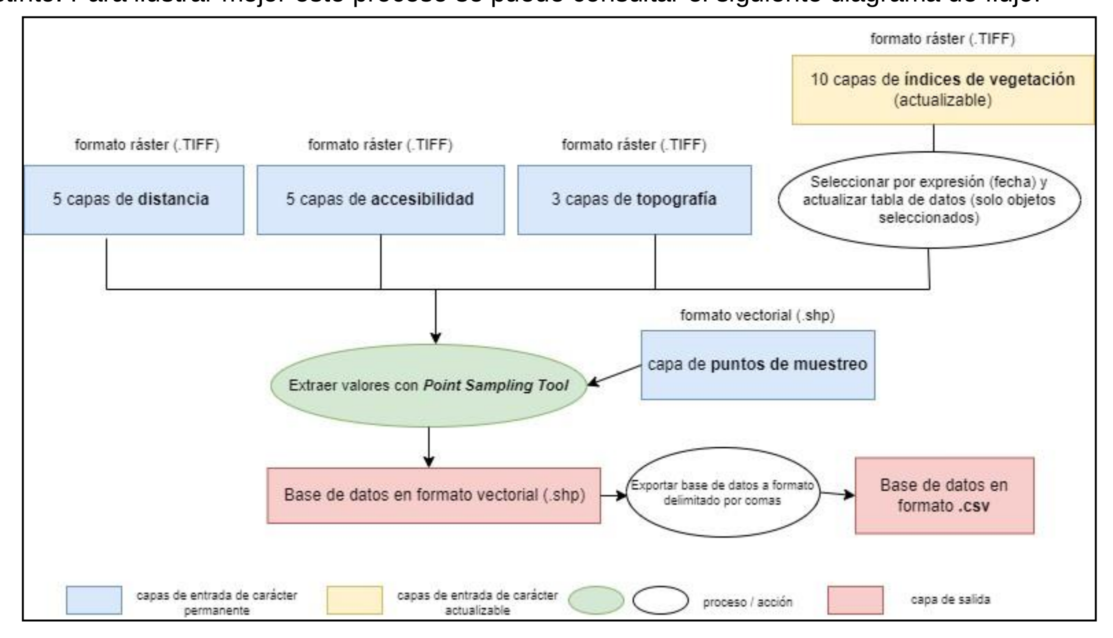
VARIABLES DEL ESTADO DE VEGETACIÓN

Variable		Descripción	Proceso de obtención	Metadatos de la capa
14	ARVI	***Atmospherically Resistant Vegetation Index*** NDVI corregido para efectos de dispersión atmosférica $\mathrm{ARVI} = \frac{\mathrm{NIR} - (2 * \mathrm{Red}) + \mathrm{Blue})}{\mathrm{NIR} - (2 * \mathrm{Red}) + \mathrm{Blue})}$ NIR (Near-Infrared Region) → B8 Red (Rojo, espectro visible) → B11 Blue (Azul, espectro visible) → B2	Los índices espectrales o índices de vegetación son descargados mediante el siguiente script de Google Earth Engine, se usa para ello imágenes Sentinel 2A.	**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
15	BSI	***Bare Soil Index*** Identificar zonas sin cobertura vegetal $\mathrm{BSI} = \frac{(\mathrm{Red} + \mathrm{SWIR}) - (NIR + Blue)}{(\mathrm{Red} + \mathrm{SWIR}) + (NIR + Blue)}$ Red (Rojo, espectro visible) → B11 SWIR (Shortwave Infrared) → B4 NIR (Near-Infrared Region) → B8 Blue (Azul, espectro visible) → B2		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
16	GNDVI	***Green Normalized Difference Vegetation Index*** NDVI más sensible a la variación del contenido de clorofila y nitrógeno $\mathrm{GNDVI} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ SWIR (Shortwave Infrared) → B3 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
17	MSI	***Moisture Stress Index*** Determinar el estrés hídrico de la vegetación $\mathrm{MSI} = \frac{MidIR}{NIR}$ MidIR (Shortwave Infrared) → B11 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** 0 a 3+
18	NBR	***Normalized Burn Ratio*** Estimar la cantidad y desarrollo de áreas incendiadas $\mathrm{NBR} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ SWIR (Shortwave Infrared) → B12 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
19	NDMI	***Normalized Difference Moisture Index*** Determinar el contenido de agua de la vegetación $\mathrm{NDMI} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ SWIR (Shortwave Infrared) → B11 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
20	NDWI	***Normalized Difference Water Index*** Identificar masas de agua y zonas de elevada humedad $\mathrm{NDWI} = \frac{NIR - Green}{NIR + Green}$ SWIR (Shortwave Infrared) → B3 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1

21	NDVI	***Normalized Difference Vegetation Index*** Facilidad con la que el fuego se propaga en la vegetación $\mathrm{NDVI} = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$ Red (Rojo, espectro visible) → B4 NIR (Near-Infrared Region) → B8		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1
22	SAVI	***Soil Adjusted Vegetation Index*** Analizar la vegetación en etapas de crecimiento inicial o dispersa $\mathrm{SAVI} = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} * (1 + L)$ NIR (Near-Infrared Region) → B8 Red (Rojo, espectro visible) → B4 Factor de correción de la luminosidad del suelo → L		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1+
23	Moisture Index	***Normalized Difference Moisture Index*** Estimar el contenido de humedad de la vegetación $\mathrm{Moisture} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$ SWIR (Shortwave Infrared) → B11 NIR (Near-Infrared Region) → B8A		**SRC:** EPSG:32717 **Resolución espacial:** 10 x 10 metros **Rango de valores:** -1 a 1+

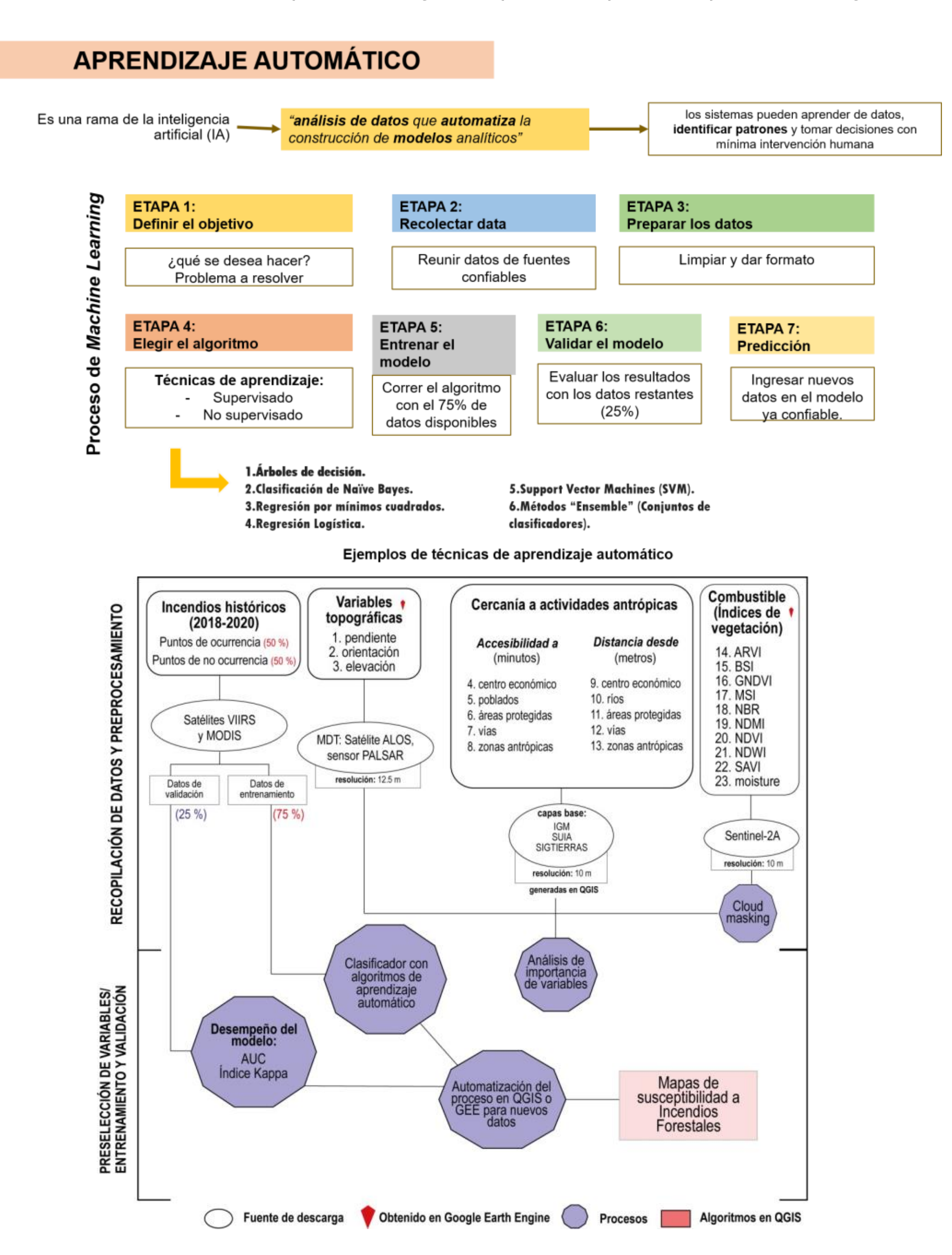
GENERACIÓN DE LA BASE DE DATOS

Una vez culminada la identificación y espacialización de las variables, se dio paso a la generación de la base de datos. En este proceso se utilizó el software libre QGIS v.3.22. con su complemento ***Point Sampling Tool***, el que permite capturar valores de capas ráster o vectoriales que les corresponden a los puntos de muestreo (puntos de ocurrencia y no ocurrencia). De las 23 variables contenidas en la base de datos, 13 tienen un carácter permanente y 10 son actualizables (disponibilidad de imágenes Sentinel 2A cada 5 días), por lo que el tratamiento de estos datos es distinto. Para ilustrar mejor este proceso se puede consultar el siguiente diagrama de flujo:



ENTRENAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

La generación del modelo de susceptibilidad siguió el proceso que se explica en la siguiente figura:



Se realiza una partición de las bases de datos en dos grupos: 75% para entrenar el modelo y 25% para validarlo según su desempeño en las métricasde evaluación. Para el cantón Loja se probaron tres algoritmos: árboles de decisión logística (LMT), regresión logística (LR) y splines de regresión adaptativa multivariadas (MARS).

Por último, en las ***etapas 6 y 7*** del proceso de aprendizaje automático se evalúan los resultados con los datos de validación (25% del conjunto de datos total) y, si las métricas son buenas, se procede a la predicción con nuevos datos.

Independientemente, de la técnica o algoritmo empleado, los modelos fueron evaluados con dos herramientas: el *Área Bajo la Curva (AUC)* y el *Coeficiente Kappa de Cohen.*

1.1.1. Área Bajo la Curva

La curva ROC (*Receiver Operating Characteristive*) permite evaluar la capacidad del modelo entrenado para clasificar información. Este mide la relación entre la sensibilidad o "tasa de verdaderos positivos" y la 1-especificidad o "tasa de falsos positivos" (Fórmula1 y 2).

$$Sensibilidad = \frac{VP}{(VP+FN)}\ ;\ VP = verdaderos\ positivos\ \ FN = falsos\ negativos \quad (1)$$

$$Especificidad = \frac{VN}{(FP+VN)}\ ;\ VN = verdaderos\ negativos\ \ FP = falsos\ positivos \quad (2)$$

Así, el área que se encuentre bajo esta curva representa el porcentaje de clasificaciones correctas. Generalmente, los valores superiores a 0.70 son considerados como buenospredictores[1]. El AUC para los modelos entrenados para el cantón fue superior a 0.85.

1.1.2. Coeficiente Kappa de Cohen

El coeficiente Kappa o índice Kappa es un instrumento estadístico que estima la concordancia entre dos observadores o herramientas de medición para un mismo fenómeno, con el propósito de ajustar el efecto del azar en la proporción de la concordancia esperada, tal como establece la fórmula 3 [2].

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}\ ; \quad (3)$$

$$P_o = \text{proporción}\ de\ concordancia\ observada$$

$$P_e = proporción\ de\ concordancia\ esperada\ por\ el\ azar$$

Para evaluar la concordancia de variables categóricas, especialmente aquellas con salida dicotómica o binaria (como en el presente estudio), Landis y Koch proponen la interpretación cualitativa más conocida. En ella, los valores menores a 0.40 representanuna concordancia pobre o débil; entre 0.41 a 0.6, moderada; entre 0.61 a 0.8, concordancia buena o significante y aquellos valores mayores a 0.80 tienen un nivel deconformidad casi perfecto.

En los modelos probados para el cantón, el valor del índice Kappa rodea el 0.82.

---

[1] Cerda, Jaime, & Cifuentes, Lorena. (2012). *Uso de curvas ROC en investigación clínica: Aspectos teórico-prácticos*. Revista chilena de infectología, 29(2), 138-141. https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182012000200003

[2] Landa, F., Cruz, N., Coria, G., Rebolledo, G., & Hernández, S. (2014). *El Índice Kappa de Cohen como Herramienta para la Reducción de Ruido de Información Cerebral en la Identificación de Niveles de Valencia*. Puebla.

AUTOMATIZACIÓN DE LOS MODELOS EN LA PLATAFORMA DE GOOGLE EARTH ENGINE

El diseño y funcionamiento del visor web de susceptibilidad a incendios forestales para el cantón Loja está basado en el lenguaje de programación ***Javascript,*** es decir, se configura todo desde el editor de código de la plataforma de Google Earth Engine.

A continuación, encontrará una explicación detallada de la implementación del modelo MARS para el cantón Loja, si desea tener un mejor entendimiento del fundamento estadístico del algoritmo, recomendamos las siguientes lecturas:

- MARS: Multivariate Adaptive Regression Splines — How to Improve on Linear Regression? | by Saul Dobilas | Towards Data Science
- Chapter 7 Multivariate Adaptive Regression Splines | Hands-On Machine Learning with R (bradleyboehmke.github.io)

Explicación del script para el modelo de susceptibilidad a incendios forestales, cantón Loja

https://bit.ly/3TaazQ0

Líneas 5-15: declaración de variables permanentes (ej: accesibilidad al centro económico, distancia desde ríos, distancia desde vías, distancia desde zonas antrópicas, elevación, límite cantonal, límites parroquiales)

```
B7 = ee.Image("users/lojanjulia/comparacionmodelosIF/Elevacion_div_1000"),
B6 = ee.Image("users/lojanjulia/comparacionmodelosIF/dist_rios_km"),
B5 = ee.Image("users/lojanjulia/comparacionmodelosIF/dist_antro_km"),
B4 = ee.Image("users/incendiosloja/access_vias"),
B3 = ee.Image("users/incendiosloja/access_cen"),
region =ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/loja").geometry(),
parroquias = ee.FeatureCollection("users/lojanjulia/ParroquiasLoja"),
listaparroquias = parroquias.aggregate_array('DPA_DESPAR'),
no_urbano = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/nourbano_provLoja"),
urbano = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/urbano_cantonLoja"),
poblados = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/poblados_cantonLoja");
```

Líneas 228-232: configuración de estilo (tamaño y color de letra) de paneles.

```
var c = {};
c.directorpanel = ui.Panel([c.info.directorLabel,
c.info.frreyesLabel],ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'),{width: '280px', backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'});
c.analistapanel = ui.Panel([c.info.analistaLabel,
c.info.jilojanLabel],ui.Panel.Layout.Flow('horizontal'),{width: '280px', backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'});
c.perfilespanel = ui.Panel([c.info.aboutLabel, c.directorpanel,
c.analistapanel],ui.Panel.Layout.Flow('vertical'),{
  width: '300px', position: 'middle-left', backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)'});
c.infoPanel.add(c.info.TituloMapa).add(c.perfilespanel). add(c.info.websiteLabel);
```

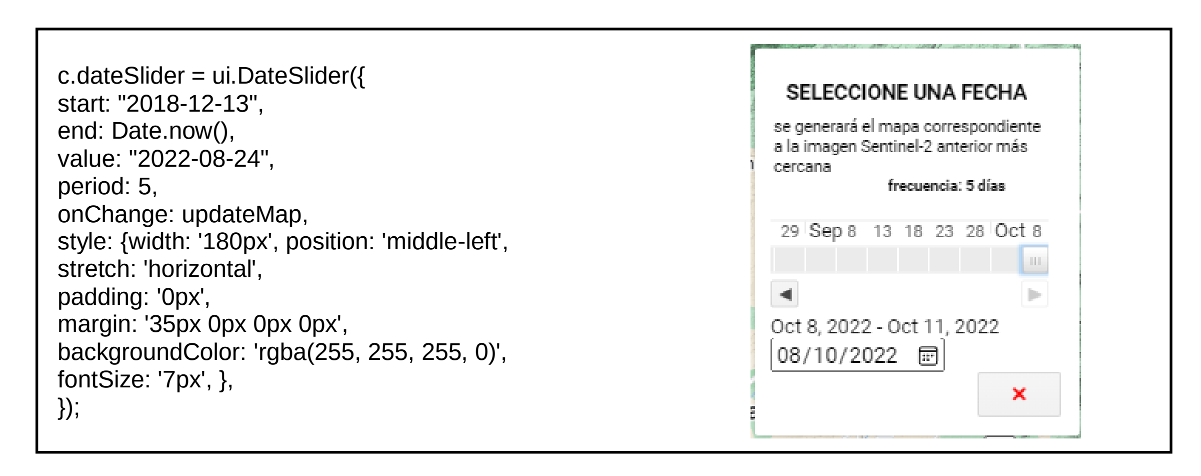
Líneas 2-4: llamado a la colección Sentinel-2

```
var s2Sr = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR');
var s2Clouds = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY');
```

Líneas 955-961: limpieza de la interfaz gráfica e incorporación de los paneles en el mapa.

```
ui.root.clear();
ui.root.add(c.map);
c.map.add(c.botones).add(c.infoPanel).add(legend).add(c.controlPanel).add(c.descargaPanel.Title).add(c.capasPanel).add(button_capasPanel).add(c.descargaPanel);//.add(c.descargaPuntos).add(c.capasPanel);
c.map.add(c.descargaPanel.chart2);
c.map.add(c.descargaPanel.chart);
c.map.centerObject(region).setOptions('ROADMAP');
c.dateSlider.setValue(ee.Date(Date.now()));
```

Líneas 122-134: configuración y aplicación de parámetros de estilo (tamaño, margen, color) en el panel de selección de fecha.



```
c.dateSlider = ui.DateSlider({
start: "2018-12-13",
end: Date.now(),
value: "2022-08-24",
period: 5,
onChange: updateMap,
style: {width: '180px', position: 'middle-left',
stretch: 'horizontal',
padding: '0px',
margin: '35px 0px 0px 0px',
backgroundColor: 'rgba(255, 255, 255, 0)',
fontSize: '7px', },
});
```


Líneas 778-788: generación del enlace de descarga para descargar la capa de susceptibilidad a incendios forestales.

```
var URLDescarga =   Reclasi_final_MARS.getDownloadURL( {
name: 'Susceptibilidad a Incendios Forestales',
scale: 60,   crs:'EPSG:4326',  region: region,   filePerBand: false,
format: "GEO_TIFF", });
  c.descargaPanel.Title.setValue('Capa de Susceptibilidad');
  c.descargaPanel.Title.setUrl(URLDescarga) ;
```

Líneas 610-619: configuración de parámetros de visualización para la capa de límites parroquiales y adición al mapa.

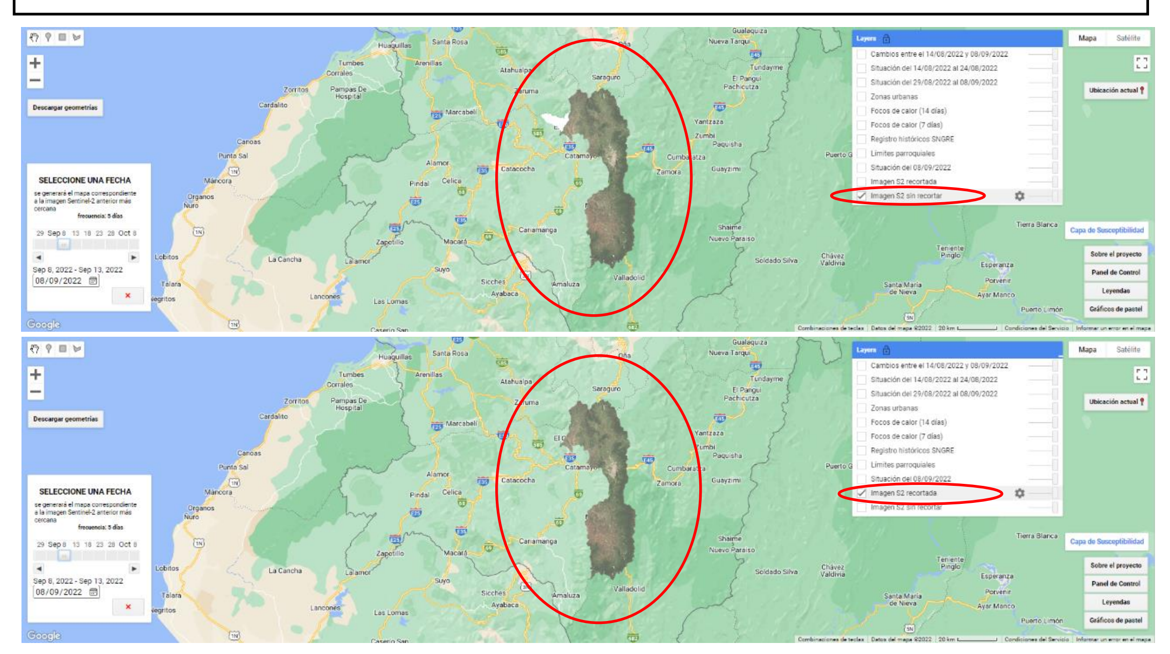
```
var empty = ee.Image().byte();

var outline = empty.paint({
  featureCollection: parroquias,
  color: 1,   width: 1 });

var layer4 = ui.Map.Layer(
    outline,{palette: '000000'},'Límites parroquiales', true);
  c.map.layers().set(3, layer4);
```

Líneas 357-373: aplicación de filtros (región y fecha) a la colección de Sentinel-2; enmascaramiento o “recorte” de nubes y visualización en el mapa.

```
function maskClouds (img) {var clouds = ee.Image(img.get('cloud_mask')).select('probability');  var
isNotCloud = clouds.lt(perminubes);  return img.updateMask(isNotCloud);}
function maskEdges(s2_img) {return s2_img.updateMask(
s2_img.select('B8A').mask().updateMask(s2_img.select('B9').mask()));}
var criteria = ee.Filter.and(ee.Filter.bounds(region), ee.Filter.date(START_DATE, END_DATE));
var s2S = s2Sr.filter(criteria).map(maskEdges);
var s2Cloud = s2Clouds.filter(criteria);
var s2SrWithCloudMask = ee.Join.saveFirst('cloud_mask').apply({ primary: s2S,  secondary: s2Cloud,
condition: ee.Filter.equals({leftField: 'system:index', rightField: 'system:index'})});
var s2 =  ee.ImageCollection(s2S).median().clip(region);
var s2CloudMasked =
ee.ImageCollection(s2SrWithCloudMask).map(maskClouds).median().clip(region);
var mask_S2 = s2CloudMasked.select('B3');
var unmask_S2 = s2.select('B3');
var rgbVis = {min: 0, max: 3000, bands: ['B4', 'B3', 'B2']};
var layer1 = ui.Map.Layer(
    s2, rgbVis, 'S2 without cloudmasking',      false);
  c.map.layers().set(0, layer1);
var layer2 = ui.Map.Layer(
    s2CloudMasked, rgbVis, 'S2 SR masked at ' + MAX_CLOUD_PROBABILITY + '%', false);
  c.map.layers().set(1, layer2);
```



Líneas 412-419: configuración de parámetros de visualización para la capa de registros históricos de incendios forestales del SNGRE y adición al mapa.

```
var registrosIF = ee.FeatureCollection("users/incendiosloja/Eventos_2010_2021_inf");
var style = registrosIF.style({
  color:'black', width: 1, pointSize: 4, pointShape: 'triangle', fillColor: 'yellow'
});

  var layer5 = ui.Map.Layer(
    style,null,'Registro históricos SNGRE', false);
  c.map.layers().set(4, layer5);
```

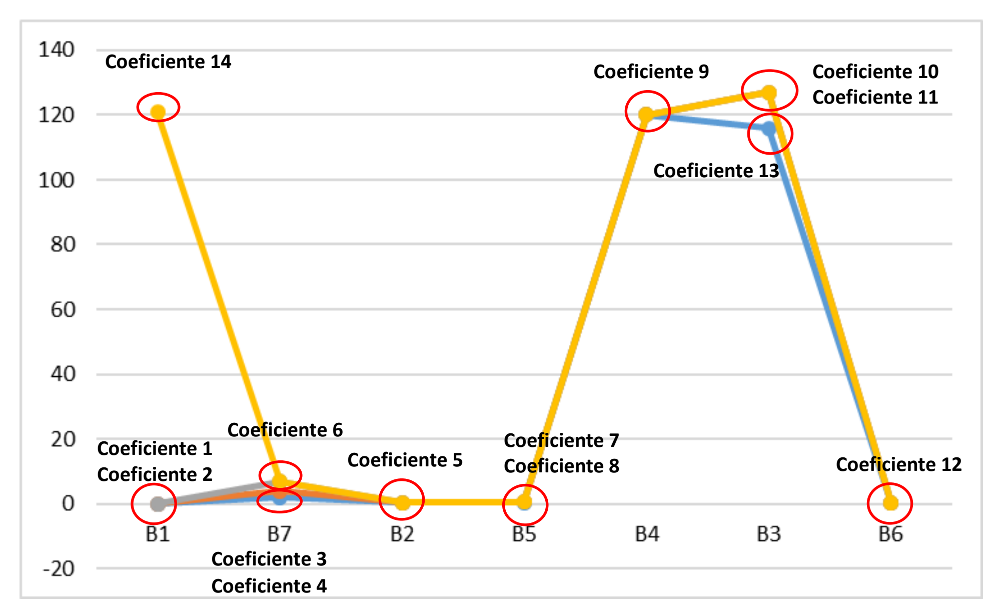
Líneas 513-545: generación de los índices espectrales de vegetación; transformación de las variables a utilizar como “bandas”; unión de las bandas en una sola imagen; aplicación de las ecuaciones diferenciales para cada coeficiente en el modelo MARS (para el caso de Loja hay 14 coeficientes que dividen los datos para su aplicación).

$$\boldsymbol{Hinge\ function\ o\ función\ bisagra\ para\ el\ Coeficiente\ 1}:$$

$$\boldsymbol{Coef_1} = \left(\max\left(0, \left(B1 - (-0.0139)\right)\right) * -127\right)$$, siendo **B1 =** índice NDMI

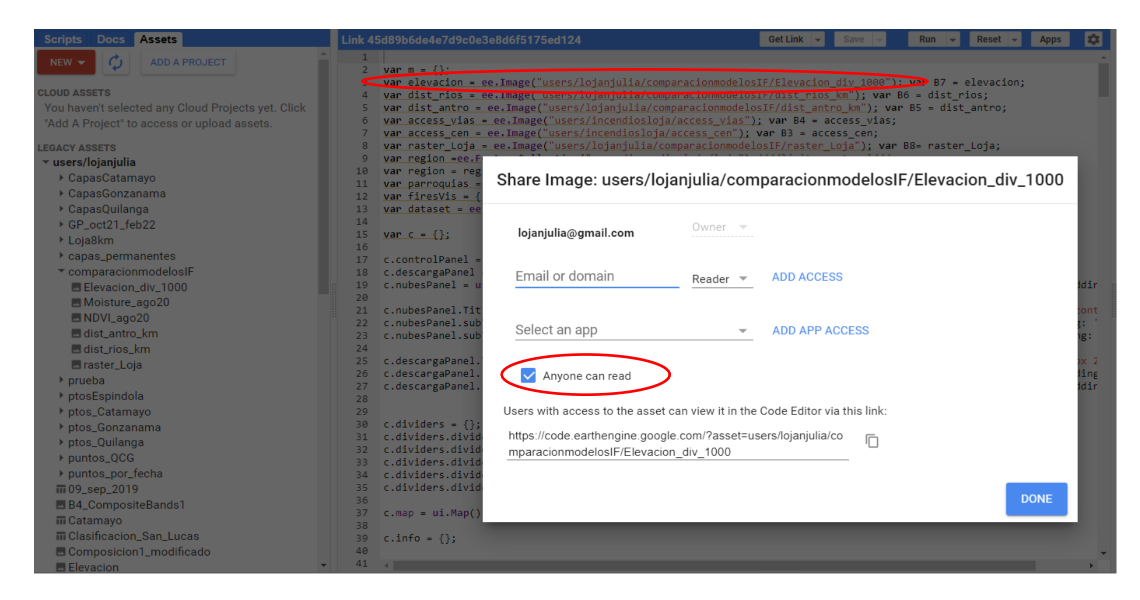
```
function MARS_Loja (){ var NDMI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8A', 'B11']); var B1 = NDMI;
var NDVI = s2CloudMasked.normalizedDifference (['B8', 'B4']); var B2 = NDVI; var bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBands(B8).rename('B1','B2','B3','B4','B
5','B6','B7','B8');
var Coef_1 = bandas.expression('float(max(0,(B1-(-0.0139)))*-127)', {'B1': bandas.select('B1')}); var Coef_2 =
bandas.expression('float(max(((-0.0139)-B1),0)* 82)', {'B1': bandas.select('B1')});
var Coef_3 = bandas.expression('float(max(0,(B7-1.975))*-3.81)', {'B7': bandas.select('B7')}); var Coef_4 =
bandas.expression('float(max((1.975-B7),0)*-4.99)', {'B7': bandas.select('B7')});
var Coef_5 = bandas.expression('float(max(0,(B2-0.3865))*-7.38)', {'B2': bandas.select('B2')}); var Coef_6 =
bandas.expression('float(max(0,(B7-2.904))*8.02)', {'B7': bandas.select('B7')});
var Coef_7 = bandas.expression('float(max(0,(B5-0.303))*0.585)', {'B5': bandas.select('B5')}); var Coef_8 =
bandas.expression('float(max((0.303-B5),0)*3.54)', {'B5': bandas.select('B5')});
var Coef_9 = bandas.expression('float(max((120-B4),0)*0.0485)', {'B4': bandas.select('B4')}); var Coef_10 =
bandas.expression('float(max(0,(B3-(116)))*-0.653)', {'B3': bandas.select('B3')});
var Coef_11 = bandas.expression('float(max(0,(116-B3))*0.619)', {'B3':bandas.select('B3')}); var Coef_12 =
bandas.expression('float(max(0, (0.1662-B6))*-6.95)', {'B6': bandas.select('B6')});
var Coef_13 = bandas.expression('float(max(0,(B3-11))*0.648)', {'B3': bandas.select('B3')}); var Coef_14 =
bandas.expression('float(max(0,(B1-(-0.0751))*121))', {'B1': bandas.select('B1')});
var C0 = -76.10; var C1= ee.Image(1).where(B1.gt(-0.0139),Coef_1).where(B1.lte(-0.0139),0); var C2= ee.Image(1).where(B1.lte(-
0.0139),Coef_2).where(B1.gt(-0.0139),0);
var C3 = ee.Image(1).where(B7.gt(1.975),Coef_3).where(B7.lte(1.975),0); var C4 =
ee.Image(1).where(B7.lte(1.975),Coef_4).where(B7.gt(1.975),0);
var C5= ee.Image(1).where(B2.gt(0.3865), Coef_5).where(B2.lte(0.3865), 0); var C6 =
ee.Image(1).where(B7.gt(2.904),Coef_6).where(B7.lte(2.904),0);
var C7 = ee.Image(1).where(B5.gt(0.303),Coef_7).where(B5.lte(0.303),0); var C8 =
ee.Image(1).where(B5.lte(0.303),Coef_8).where(B5.gt(0.303),0);
var C9 = ee.Image(1).where(B4.lte(120),Coef_9).where(B4.gt(120),0); var C10 =
ee.Image(1).where(B3.gt(116),Coef_10).where(B3.lte(116),0);
var C11 = ee.Image(1).where(B3.lte(116),Coef_11).where(B3.gt(116),0); var C12 =
ee.Image(1).where(B6.lte(0.1662),Coef_12).where(B6.gt(0.1662),0);
var C13 = ee.Image(1).where(B3.gt(11),Coef_13).where(B3.lte(11),0); var C14 = ee.Image(1).where(B1.gt(-
0.0751),Coef_14).where(B1.lte(-0.0751),0); var Coef =
bandas.expression('C0+C1+C2+C3+C4+C5+C6+C7+C8+C9+C10+C11+C12+C13+C14',
   {'C0': C0, 'C1': C1, 'C2': C2, 'C3': C3,'C4': C4, 'C5': C5,'C6':C6,'C7':C7, 'C8': C8, 'C9':C9,'C10': C10,'C11':C11, 'C12': C12, 'C13': C13,
'C14': C14});
```

Se aplica para casos en que el índice NDMI (B1) es mayor a -0.0139; en caso contrario se asigna 0.



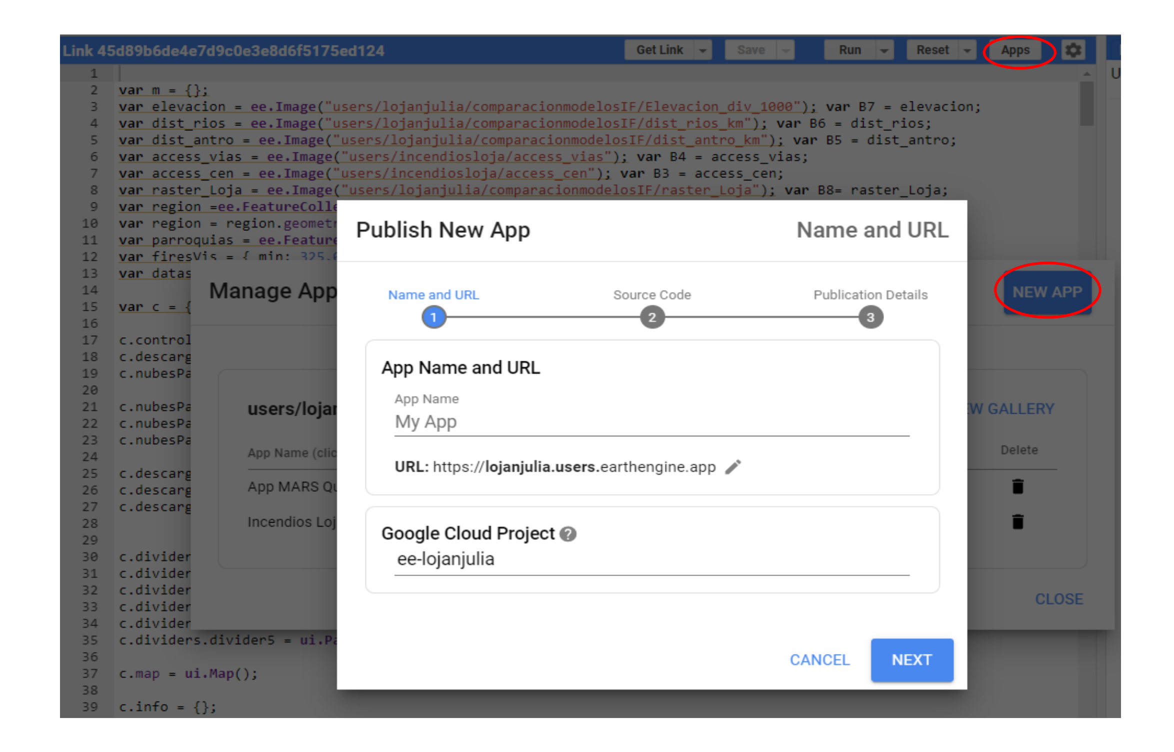
LANZAMIENTO DEL VISOR COMO UNA EARTH ENGINE APP

Una vez que el script sea funcional, se procede a revisar el acceso público de las capas o variables importadas con el fin de evitar errores y hacer que la experiencia del usuario final transcurra sin inconvenientes:



El lanzamiento del script como un visor de consulta es posible utilizando la opción **Apps** de la esquina superior derecha en nuestro tablero de código. Para una explicación más detallada de este proceso se pueden revisar los siguientes enlaces:

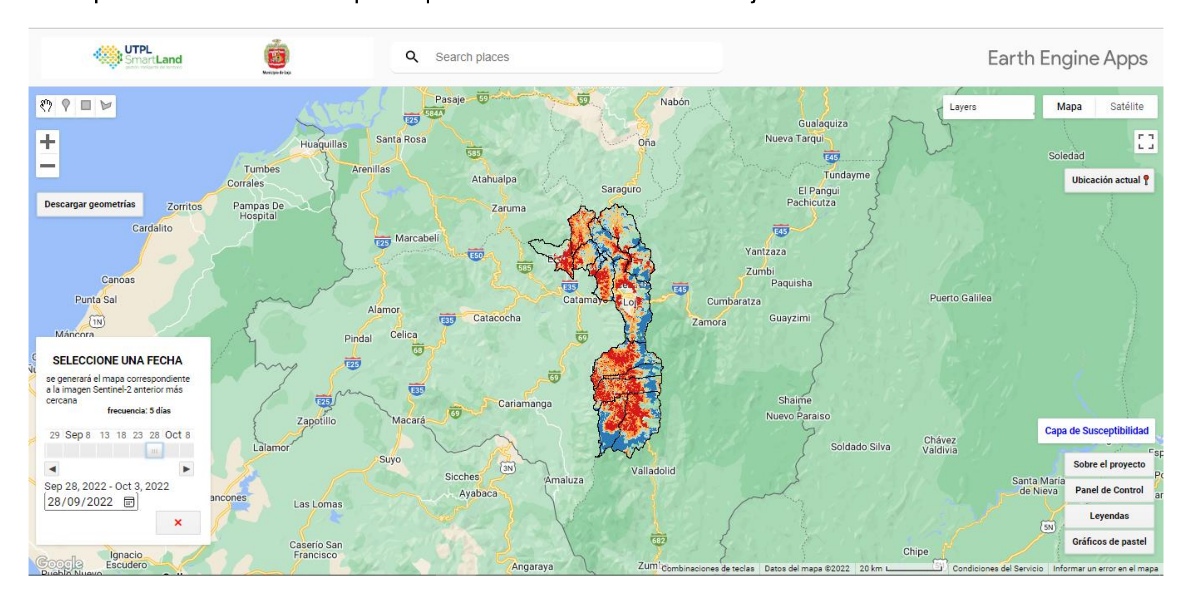
- Publishing an Earth Engine App to Accompany your Research Paper - YouTube
- Publishing an EE App to Accompany your Research Paper - Documentos de Google



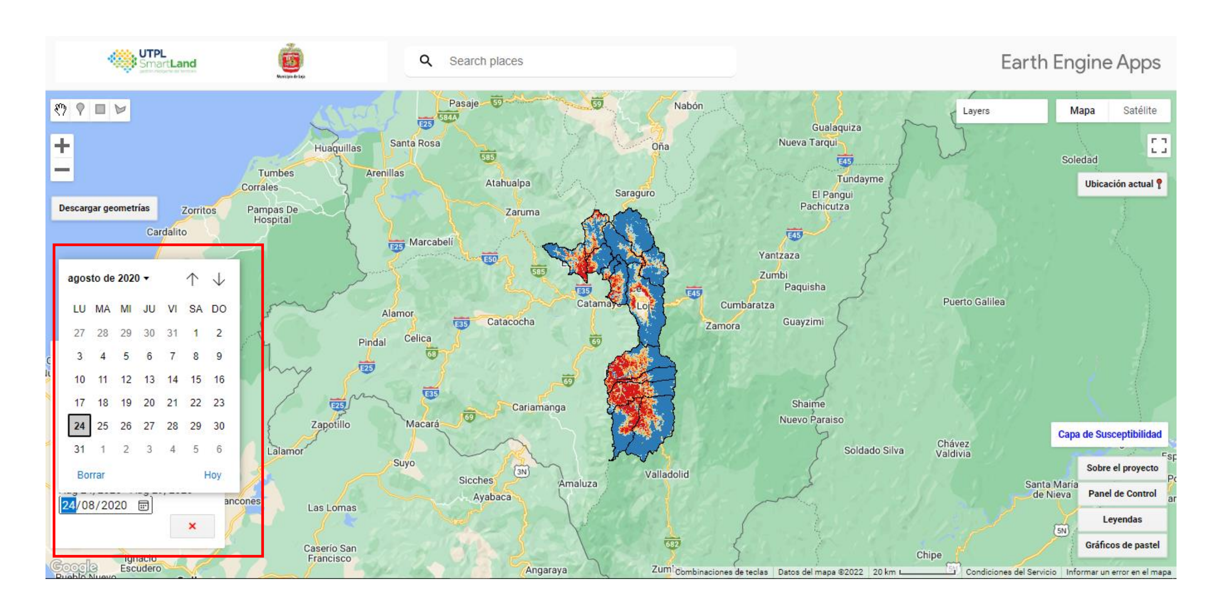
INSTRUCCIONES DE USO DEL VISOR WEB DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

https://incendiosloja.users.earthengine.app/view/mars-loja

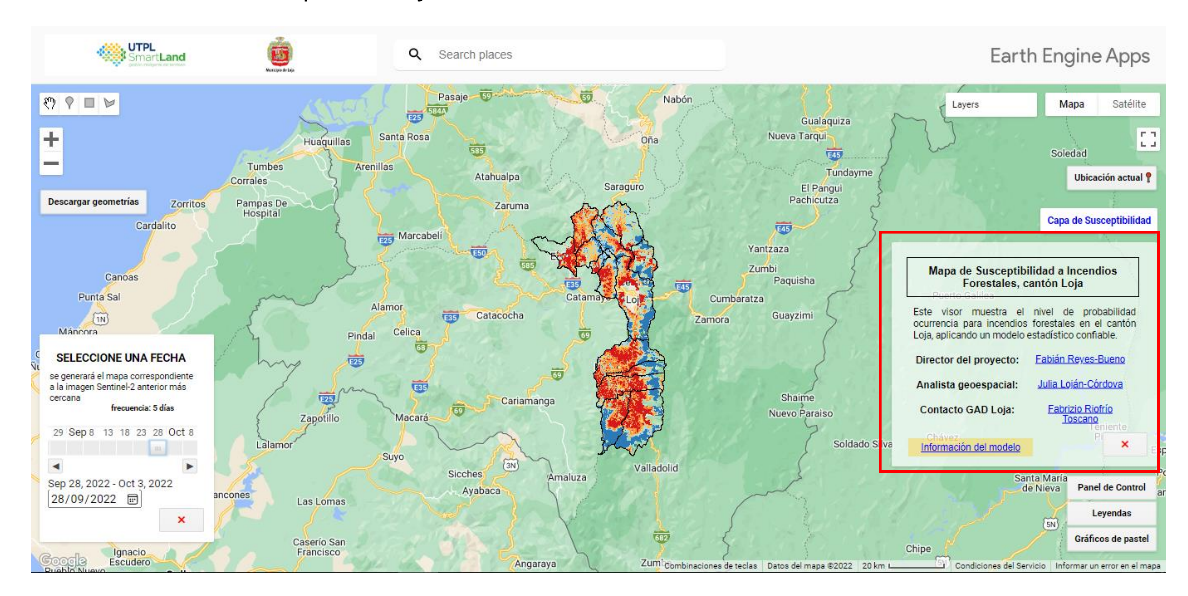
El visor web constituye el producto final del proyecto que se ha descrito en este documento explicativo. Fue diseñado para ser consultado por todo tipo de usuario: desde los más entrenados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) hasta miembros de instituciones de respuesta o ciudadanos. Por defecto, la página buscará automáticamente la imagen Sentinel 2 más reciente disponible, y a partir de ella, mostrará la capa de susceptibilidad a incendios forestales acompañada de los límites parroquiales dentro del cantón Loja:



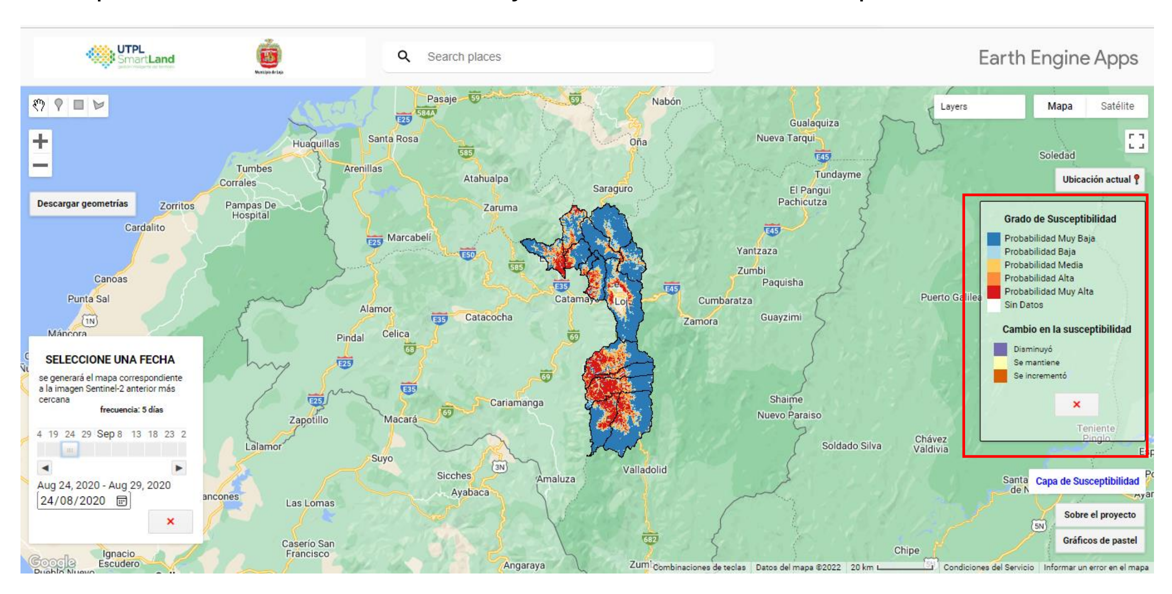
En el panel inferior izquierdo, se encuentra el panel de control desde donde se podrá cambiar la fecha a consultar de dos maneras: deslizando el cursor de izquierda a derecha (también en sentido contrario), o abriendo la opción de calendario. Si se elige una fecha en la que no existe imagen satelital disponible, la página buscará la más cercana (recuerde que se actualizan cada 5 días).



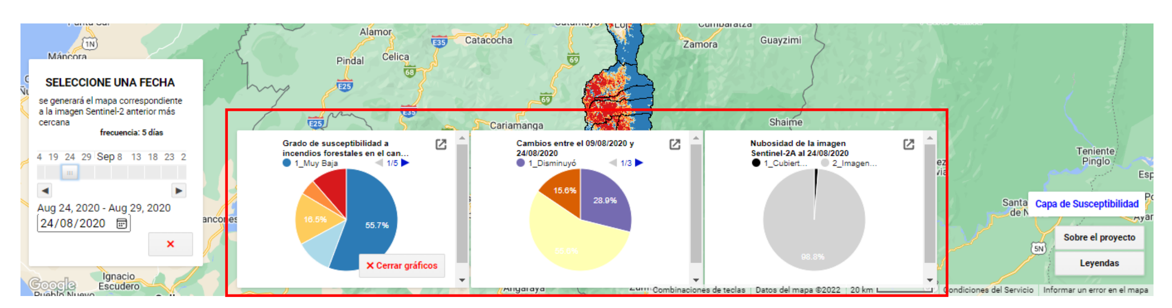
A la derecha se encuentra un botón con el texto “Sobre el proyecto”, al hacer clic en él se despliega un panel con una breve explicación del proyecto de vinculación, un enlace a este documento explicativo y datos de contacto.



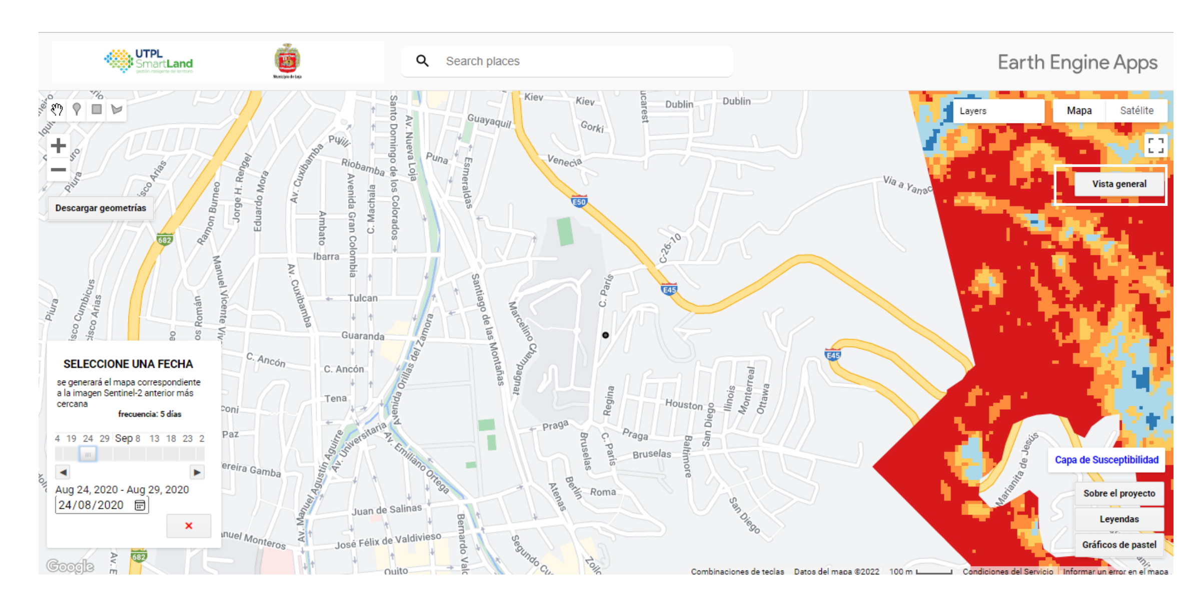
Al seleccionar el botón “Leyendas” se abrirá un panel con la simbología de las capas de susceptibilidad a incendios forestales y de cambio en esta susceptibilidad.



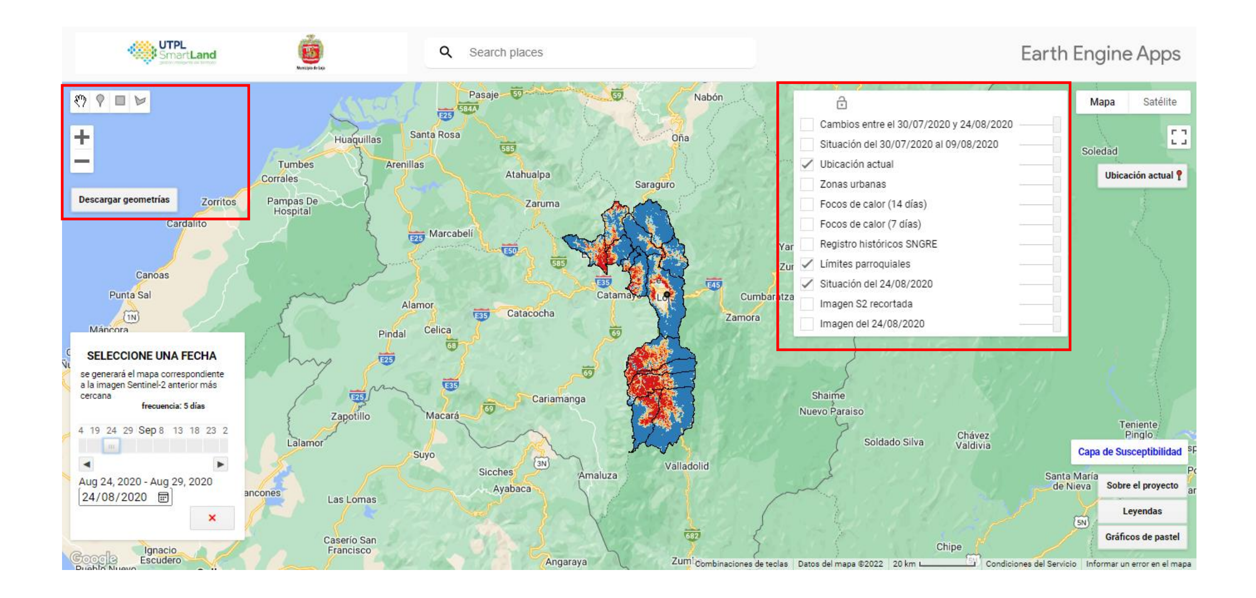
Por su parte, el botón “Gráficos de pastel” ubicado en la parte inferior derecha desplegará un resumen visual de la susceptibilidad a incendios forestales, la cobertura de nubes y el cambio en el grado de susceptibilidad.



Otra función disponible en el visor web es la de acercar el mapa a nuestra ubicación actual, siendo mucho más preciso cuando se consulta desde un dispositivo móvil. Para regresar al nivel de zoom anterior, bastará con dar clic a “Vista General”.



Para habilitar o deshabilitar las capas de información disponible en el visor es necesario desplegar el menú “Layers” de la esquina superior derecha, donde se podrá jugar también con transparencias. Finalmente, está disponible la opción de generar geometrías (puntos, rectángulos o polígonos) y posteriormente descargarlos en formato kml en el menú superior a la izquierda.



GLOSARIO DE FUNCIONES DE GOOGLE EARTH ENGINE APLICADAS AL VISOR DE SUSCEPTIBILIDAD A INCENDIOS FORESTALES

ee.Image: un objeto que representa una imagen, generalmente en formato .GeoTIFF. Equivalente al uso del término *ráster* en sistemas de información geográfica tradicionales.

ee.Image.where(): operador condicional para filtrar o seleccionar pixeles en ráster (ee.Image).

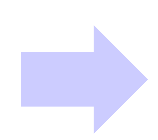
Image.where(test, value)

Ejemplo de utilización dentro del script:

m.C1= ee.Image(1).where(B6.gt(0.10787),m.Coef_1).where(B6.lte(0.10787),0);

En este caso, si la celda tiene un valor mayor a 0.10787 en la banda 6 se reemplaza por el coeficiente 1 (hipotéticamente valor de 5); si la celda tiene un valor menor o igual a 0.10787 en la banda 6 se reemplaza por 0.

0.10787	-0.68	0.78
2.32	1.12	0.012
-9.85	-5.21	3.25



0	0	5
5	5	0
0	0	5

ee.Image.byte(): convierte el valor de entrada en un entero de 8 bits sin signo.

ee.Image.paint(): pinta las geometrías de una colección en una imagen.

Image.paint(featureCollection,color, width)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var empty = ee.Image().byte();
var outline = empty.paint({ featureCollection: parroquias,
  color: 1, width: 2 });
```

Se utilizó para la visualización de las parroquias en cada cantón sin relleno (límites parroquiales)

ee.Image.select(): selecciona una banda dentro de un ráster (ee.Image)

Image.select(var_args)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var dataset = ee.ImageCollection('FIRMS').filter(ee.Filter.date(fecha2_FC, fecha1_FC));
var fires = dataset.select('T21');
```

Con estas líneas de código, seleccionamos solamente una de las tres bandas disponibles en los focos de calor (FIRMS Nasa), que es el componente de brightness temperature

ee.Image.expression(): permite realizar operaciones aritméticas en imágenes ráster, sería equivalente a la calculadora ráster en QGIS.

Image.expression(expression, map)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
m.BSI = s2CloudMasked.expression('float(((Red+SWIR)-(NIR+Blue))/((Red+SWIR)+(NIR+Blue)))',
{'Red': s2CloudMasked.select('B11'), 'NIR': s2CloudMasked.select('B8'),
'SWIR': s2CloudMasked.select('B4'), 'Blue': s2CloudMasked.select('B2')});
```

Cálculo del índice BSI siguiendo la fórmula (Red+SWIR)-(NIR+Blue) / (Red+SWIR)+(NIR+Blue)

ee.Image.addBands(): integra bandas a una imagen.

Image.addBands(scrImg, names, overwrite)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
m.bandas =
B1.addBands(B2).addBands(B3).addBands(B4).addBands(B5).addBands(B6).addBands(B7).addBands(B8).ren
ame('B1','B2','B3','B4','B5','B6','B7','B8' );
```

Aquí se integran las ocho variables que se necesitan para el modelo de Quilanga en una sola imagen.

ee.updateMask(): actualiza la máscara de una imagen en todas las posiciones donde la máscara existente no es cero. Equivalente a la herramienta "Cortar ráster por capa de máscara" en QGIS.

Image.updateMask(mask)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
function maskClouds(img) {var clouds = ee.Image(img.get('cloud_mask')).select('probability');  var isNotCloud =
clouds.lt(perminubes);  return img.updateMask(isNotCloud);}

function maskEdges(s2_img) {return s2_img.updateMask(
s2_img.select('B8A').mask().updateMask(s2_img.select('B9').mask()));}
```

Función para recortar o enmascarar las nubes de las imágenes Sentinel-2

ee.Image.reduceNeighborhood(): aplica "reductores" a las celdas para suavizar o generalizar la imagen ráster. Herramienta equivalente a "Simple Filter" de SAGA GIS.

ee.Image.toInt(): convierte el valor de entrada en un entero de 32 bits con signo.

ee.Image.pixelArea(): permite calcular el área o superficie de cada celda.

ee.Image.add(): operador matemático de suma (+).

ee.Image.substract(): operador matemático de resta (-).

ee.Image.divide(): operador matemático de división (/).

ee.Image.multiply(): operador matemático de multiplicación (*).

ee.Image.getDownloadURL() / ee.FeatureCollection.getDownloadURL() : genera un enlace para descargar el archivo (ráster o vectorial). El tamaño máximo permitido es 32 MB.

Image.getDownloadURL(params, callback)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var URLDescarga = no_nulos.getDownloadURL( {
  name: 'Susceptibilidad a Incendios Forestales',
  scale: 35,
  crs:'EPSG:32717',
  region: region,
  filePerBand: false,
  format: "GEO_TIFF",
})
```

En este caso se solicita un enlace para descargar la capa de susceptibilidad a incendios forestales, a una escala de 35 metros, con el SRC 'EPSG: 32717' y en formato GeoTiff.

ee.ImageCollection: un objeto que almacena múltiples imágenes ráster (ee.Image)

ee.ImageCollection(args)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var s2Sr = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_SR');
```

Aquí se hace un llamado a toda la colección de imágenes Sentinel-2 que estén disponibles en Google Earth Engine (+5000 imágenes)

ee.ImageCollection.filterBounds(): permite seleccionar o recortar colecciones de imágenes para un límite dado.

ee.ImageCollection.filterDate(): permite filtrar colecciones de imágenes para un rango de fechas.

ImageCollection.filterBounds(geometry)
ImageCollection.filterDate (start,end)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var criteria = ee.Filter.and(ee.Filter.bounds(region), ee.Filter.date(START_DATE, END_DATE));
```

En este caso se filtra la colección Sentinel 2 para la fecha seleccionada en el panel de control y se recorta para el límite del cantón.

ee.Image.clip(): permite recortar imágenes ráster (ee.Image) siguiendo la geometría de archivos vectoriales (ee.Feature / ee.Geometry)

ee.Image.median(): calcula la mediana de una colección de imágenes. Es posible obtener otros estadísticos: .mean(), .min(), .max()

Image.clip(geometry)
ImageCollection.median()

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var s2 =  ee.ImageCollection(s2S).median().clip(region);
```

En este caso se calcula la mediana de las imágenes Sentinel 2 para la fecha seleccionada y se recorta para el límite.

ee.FeatureCollection: un objeto que almacena información de manera similar al formato vectorial en QGIS

ee.Number.parse(): convierte una cadena de texto en número

ee.Date.fromYMD(): construye una fecha a partir de información base (año, mes, día)

ee.Date.advance(): crea una nueva fecha según los parámetros que se le asignen

ee.Date.fromYMD(year,month,day,timeZone)
Date.advance (delta,unit,timeZone)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var START_DATE = ee.Date.fromYMD(2020, 08, 24);
var END_DATE = START_DATE.advance ( 1, 'day');
```

En este caso la fecha inicial sería 24-08-2020, y la fecha final 25-08-2020 (1 día adelante).

ui.Map.addLayer: añade objetos (ee.Image o ee.FeatureCollection) al mapa como una capa.

Map.addLayer (eeObject, visParams, name, shown, opacity)

.layers().set(): permite "enlistar" u ordenar las capas a mostrar en el mapa

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
var layer1 = ui.Map.Layer(
   s2, rgbVis, 'S2 without cloudmasking',     false);
  c.map.layers().set(0, layer1);
var layer2 = ui.Map.Layer(
   s2CloudMasked, rgbVis, 'S2 SR masked at ' + MAX_CLOUD_PROBABILITY + '%', false);
  c.map.layers().set(1, layer2);
```



Map.centerObject(): permite centrar el mapa a un objeto dado y a un determinado nivel de zoom.

Map.setOptions(): permite configurar el mapa base (satélite, terreno, calles, etc.)

ui.Panel: crea un objeto “widget” o panel que puede contener otros objetos o paneles.

ui.Label: crea etiquetas de texto que pueden añadirse a los paneles.

ui.Buttom(): crea un botón para desencadenar una acción.

ui.Label.setValue(): configurar un valor por defecto para las etiquetas de texto (ui.Label)

Label.setValue(value)

Ejemplo de utilización dentro del script:

```
c.nubesPanel.Title.setValue('Porcentaje de nubes en la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle.setValue('Fecha de la imagen S2');
c.nubesPanel.subTitle2.setValue('Permisividad de nubes');
c.descargaPanel.Title.setValue('Link de descarga');
```

ui.Select.getValue(): captura el valor elegido en el panel de control para utilizarlo posteriormente.

ui.Button.onClick(): hace una devolución de llamada (repita una acción) cuando recibe un click.

ui.Select.onChange(): hace una devolución de llamada (repita una acción) cuando cambia la selección.